

铝 波 导 真 空 钎 焊

黄 群 宋定延 沈素云

(北京材料工艺研究所)

摘 要

试验证明，铝波导滤波器的理想钎焊方法是真空钎焊。基体材料为LF21铝合金。钎料为Al-11.5Si-1.5Mg和Al-7Si-1.5Mg。部件的钎焊温度为605~615℃，其真空间度为 1×10^{-5} Torr。试验指出，在真空钎焊时，铝的氧化膜并不能去除，熔化钎料是沿着金属和氧化膜之间的界面铺展的，氧化膜被举起，熔化钎料沿铝表面流动。因此，毛细作用微弱，且不能很好地形成连续的钎缝。为了提高毛细作用和得到连续的圆角，部件表面进行了局部打磨，而在真空中放置了“工艺罩”，在罩内放置了适当量的镁块。试验证明这是有效的：钎料的润湿和铺展非常好；流动距离和填充间隙能力提高了两倍；而组合件一次可以满意地焊成，且不会产生腐蚀和明显变形，从而不需焊后清洗和修整。

一、序 言

目前，铝合金真空钎焊用于热交换器类型产品的生产技术方面的报道很多，这类结构通常采用钎焊板组装，钎料在热交换器腔内熔化，随即形成钎缝和圆角。但是真空钎焊技术用于波导滤波器一类开敞式结构的报道尚未见到。由于波导和滤波器要求严格的几何形状和高光洁度的表面质量。它不可能采用钎焊板。由于它的结构复杂，其钎缝具有各种不同的空间位置，并利用毛细作用填充间隙，从而，真空钎焊铝波导滤波器遇到了麻烦。初期的探索性试验表明，铝波导滤波器在真空钎焊时，毛细作用微弱，钎料只能主要靠其重力填充间隙，凡是能够利用钎料重力填充的间隙，其填充情况尚好，而那些不能利用钎料重力填充的间隙，其填充情况都不甚好。这种现象国外已有报道^[1]。因此，必须首先找出铝真空钎焊时毛细作用微弱而填充间隙能力不强的原因，并在此基础上，采用相应的措施，提高填充间隙能力，才能使铝波导滤波器真空钎焊得到满意的结果。为此，本文对铝合金真空钎焊机理进行了探讨并对铝合金微波器件的真空钎焊技术进行了研究。

二、材料、设备及试验方法

产品试验件和试样用料均为 LF21(Al-1.5Mn) 标准铝合金，其厚度为 1.5mm。钎料采用 Al-11.5Si-1.5Mg 和 Al-7Si-1.5Mg 铝合金。

图 1 (图版 1) 为铝波导滤波器。钎焊采用热壁炉，真空钎焊全套装置示于图 2 (图版 1)。真空容器用不锈钢制成，其壁厚为 6 mm，直径为 300mm，长 1200mm。温度测量使用放在被钎焊产品或试样表面上的热电偶，典型的加热曲线示于图 3。

为了增强镁蒸气的作用，在真空容器内，放置了一个工艺罩，罩内除放置被钎焊产品或试样外，还放置了适量的镁块。

钎焊前，铝合金零件或试样均经过化学清洗，即除油，10% NaOH 溶液去膜，热水冲洗，冷水冲洗，30% HNO₃ 溶液光化，热水和冷水冲洗，烘干。

所有试验均在相对湿度小于 80% 的实验室内进行。

润湿性试验的试样为方形平板，其尺寸为 30×30×1.5mm。在试样的中心部位放置 0.06g 钎料。

流动性试验的试件采用均匀间隙为零的 T 形接头，其水平和垂直两板的尺寸分别为 100×20×1.5mm 和 100×7×1.5mm。在试样的一端放置了 0.36g 钎料。

填充间隙试验的试件为变间隙的 T 形接头，其水平和垂直两板的有效尺寸分别为 100×20×1.5mm 和 100×7×1.5mm。接头一端的间隙为零，在该处放置 0.6g 钎料；接头的另一端，垫高 1.75mm。图 4 为该试件的示意图，其中 X 为最大填充间隙值。

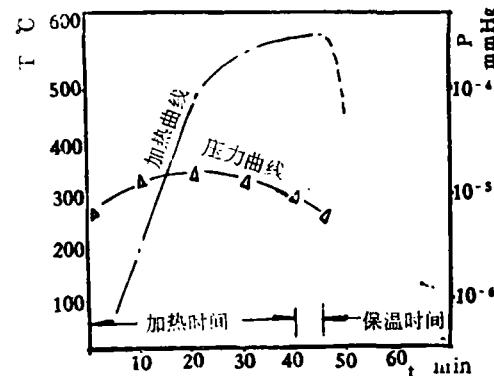


图 3 典型加热曲线

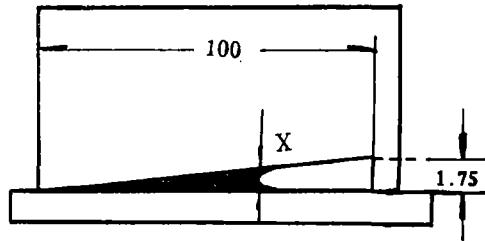


图 4 填充间隙试件示意图

三、试验结果及分析

在润湿性试验中，在存在氧化膜的试片的一侧，划一道铅笔直线，将 0.06g Al-11.5Si-1.5Mg 钎料放置在试件的中心部位，加热到 605℃，保温 5 min，钎料润湿和铺展情况示于图 5 (图版 2)。由图 5 可见，熔化钎料流经铅笔直线后，铅笔痕迹仍然成直线存在，并漂浮在熔化钎料的表面上。在此试验中，铅笔痕迹是位于铝合金的氧化膜

上面，而氧化膜下面则是新鲜铝表面。已知，钎料对铝的氧化膜是不润湿的，从而，熔化钎料的流动是沿着氧化膜下面的新鲜铝表面进行的。

为了进一步证明上述现象的存在，曾在存在氧化膜的试片上，在氧化膜的外表面全部用铅笔粉末复盖，使真空容器中的镁蒸气不与母材表面的氧化膜接触，然后进行了与图 5 相同的试验。试验结果示于图 6（图版 2）。从图 6 可见，熔化钎料的流动情况与图 5 完全相同。在真空钎焊时，钎料在铝合金表面的这种流动现象，已有类似的报道^[2]。

上述试验证明，在铝合金真空钎焊过程中，真空容器中的镁蒸气不能去除铝合金表面的氧化膜，而主要是去除真空容器中残留的氧和水，主要起保护作用。由于氧化铝的线膨胀系数只有铝的线膨胀系数的三分之一左右，在加热过程中，热应力和变形可能使氧化膜破裂，露出新鲜铝表面。在镁蒸气的保护下，液态钎料将沿着裂缝渗到铝合金的新鲜表面上，产生润湿，将氧化膜抬起，沿着新鲜铝表面进行流动，而氧化膜残留在熔化钎料的表面上。

因此，铝合金在真空钎焊时毛细作用表现微弱，钎料填充间隙能力不强。在均匀间隙为零的 T 形试样上，Al-11.5Si-1.5Mg 钎料的流动距离仅为 28mm，在变间隙的 T 形试件上，Al-11.5Si-1.5Mg 钎料所能填充的最大间隙仅为 0.5mm，对 Al-7Si-1.5Mg 钎料仅为 0.3mm。工艺试验件在真空钎焊时，钎料主要靠其重力填充间隙，而不能靠毛细作用填充各种空间位置的间隙。

为了观察钎焊温度对漂浮在熔化钎料表面上的氧化膜的影响，曾将钎焊温度提高到 615℃，其试验结果示于图 7（图版 2）。从图 7 可见，提高钎焊温度对氧化膜的分散和漂移有影响，但影响不大，较长的铅笔痕迹仍然存在，而过高的钎焊温度是对产品不利的。

一般认为，对金属表面进行机械打磨，使其粗糙化，能够增强毛细作用^[3]。在铝合金真空钎焊时，它有可能提高熔化钎料的定向流动和填充间隙能力，为此，曾进行了下述试验。

在同一个润湿性试片上分别进行两种不同的表面处理：试片先进行化学去膜和光化处理，然后其一部分用小锉刀进行打磨。在两种不同处理表面的分界线上，放置一块 Al-11.5Si-1.5Mg 块状钎料，钎焊温度为 615℃，保温 5 min。钎料的润湿和铺展情况示于图 8（图版 2）。由图 8 可见，在两种不同处理表面同时并存的情况下，虽然其表面都存在氧化膜，但熔化钎料优先流满机械打磨面。可见，机械打磨有利于钎料的铺展和定向流动。

机械打磨的良好效果同样表现在钎料流动性试验和填充间隙试验中。在均匀间隙为零的 T 形试样上，经机械打磨，Al-11.5Si-1.5Mg 熔化钎料的流动距离为 100mm，即试样全长；而化学处理者，仅为 28mm。在变间隙 T 形试件上，Al-11.5Si-1.5Mg 熔化钎料能够填充的最大间隙为 1.5mm；而化学处理者，仅为 0.5mm。

机械打磨的方法很多，如用砂纸，锉刀和钢丝刷等等。对以上三种机械打磨方法都进行了试验。图 9（图版 3）为锉刀打磨后表面的粗糙度照片。用砂纸打磨的主要缺点是造成钎缝和圆角发暗，且钎缝内部不致密。尽管在用砂纸打磨之后，仔细地进行几次

清洗，但残留物总是难免的，这对生产产品是不利的。因此，本文所提供的照片和数据均系采用锉刀打磨所得出的。

上述试验完成之后，对钎缝的强度进行了试验。几十个拉伸试样所得结果表明，无论是对接接头试件，还是双T型接头试件，其拉伸强度均大于基体金属的拉伸强度，所有试样均断裂在基体金属上。

四、微波器件的生产技术

滤波器所有隔片槽均在数控线切割机床上进行加工，其它零件和不需加工隔片槽的其它部位，均在精密机床上完成加工。

符合图纸要求的各种零件，在焊前，均经过除油和化学清洗。清洗后，在各零件需要钎焊的部位（除隔片槽外）均进行局部机械打磨。只要零件能够保持干净，化学清洗后的零件在焊前停放时间的长短是不必严格要求的。

钎料在使用前，都要进行仔细清洗。钎料可根据不同的钎焊部位，制成不同的形状，如块状、片状、环状等等。对接接头采用钎料Al-7Si-1.5Mg，其它部位所用钎料为Al-11.5Si-1.5Mg。

微波器件的零件和钎料准备好后，即可进行各组合件的装配。部件组装后的定位是重要的，只有可靠的定位方法才能防止部件在钎焊过程中产生位移，从而保证产品的焊后精度。零件的自身定位是一种最方便、最经济和最有利于部件钎焊的定位方法。所以，凡是产品能够采用自身定位的部位，都采用自身定位，如法兰、隔片、调谐块等等。部件的对接部位采用了焊接定位，波导管的对接部位可采用氩弧点焊定位或者激光点焊定位。试验证明，后者比前者具有明显的优越性，其主要优点是焊点小而氧化微弱，这对钎料的流动和填充间隙是有利的，因此，对接部位都采用了激光点焊定位。定位设备是自制的功率为40焦耳的钕玻璃固体激光点焊机。

装配和定位后，组合件从装配夹具上取下来，平放在钎焊托板上，在产品上放置工艺罩，然后置于真空容器中。

加热炉预热至720℃。真空容器预抽真空至 1×10^{-5} Tor。然后将真空容器推入加热炉中，按预定程序，加热到钎焊温度。钎焊温度为610±5℃，保温5 min，真空度保持在 1×10^{-5} Tor左右。

每个组合件都是一次焊成或者一次焊成几个组合件，而焊后勿需清洗和修整，从而提高了生产效率和降低了产品成本。微波器件各种空间位置钎缝和圆角质量良好，其表面质量和尺寸精度均符合设计要求。

真空钎焊微波器件的各种典型接头示于图10、11、12、13（图版4）。

五、结 论

1. 铝合金零件表面粗糙化，可增强真空钎焊时的毛细作用，提高钎料的定向流动

和填充间隙能力，改善钎缝质量。

2. 使用 Al-Si-Mg 钎料，采用表面局部粗糙化，在真空容器内放置工艺罩，罩内放置适量镁块等一系列措施，应用真空钎焊方法，可以一次焊成具有复杂结构的铝合金微波器件。

(1981年1月20日收到)

参 考 文 献

- (1) 大下昌 日本专利, (1975), No52~2704。
- (2) A.J.Wall,D.R.Milner, Journal of the Institute of Metals, 90(1962), june
- (3) AWS Brazing Manual, (1975) .

VACUUM BRAZING OF ALUMINIUM MICROWAVE ASSEMBLIES

Huang Qun, Song Dingyan, Shen Suyun

(Beijing Research Institute of Material and Technology)

Abstract

Dip brazing is a brazing process suitable for common aluminium microwave assemblies. The base metal was the Chinese commercial aluminium alloy LF21 (similar to 3003). Brazing filler metals used were Al-11.5Si-1.5Mg and Al-7Si-1.5Mg. The parts were brazed at 605—615°C (1121—1139°F) in a vacuum of 1×10^{-5} Torr (1.3 mPa). Experiments showed that the oxide film of aluminium could not be removed during the vacuum brazing process, the molten brazing filler metal spread along the oxide/metal interface, with oxide film was lifted and floating on the surface of molten brazing filler metal. Thus during vacuum brazing of aluminium the capillary attraction was weak and the continuity of brazing joints was poor. In order to increase the capillary attraction and to obtain continuous fillet of brazing filler metal, local roughening of the surface of the parts to be brazed was performed, a technological cover was placed over the assemblies in vacuum container, and a certain amount of Mg-chips was put into the cover. Experimental results have proved the effectiveness of the new process; the wetting and spreading of brazing filler metal were very good, the flow distance and clearance fillability were raised up about 2 times; and the microwave assemblies having complicated configuration were brazed in one heat successfully, free from corrosion and distortion, so neither cleaning nor readjusting operation after brazing were needed.